

赣江南昌河段水位降低现状及影响因素

唐立模^{1,2}, 叶志恒², 杨家启², 肖 洋^{1,2}

(1. 河海大学水文水资源及水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要:采用资料分析以及数模验证的方法,从赣江南昌河段水位降低与上游来水来沙、下游鄱阳湖水位降低以及南昌河段河床下切三个方面,对赣江南昌河段水位下降的影响因素进行了分析。结果表明:河床下切是赣江南昌河段水位降低的一个主要影响因素,大规模人为采砂是南昌河段河床下切的主因;下游鄱阳湖水位的降落亦会导致赣江南昌河段的水位下降,降幅随鄱阳湖水位降低的幅度、距鄱阳湖的距离以及流量的不同而不同,并且在枯水时受局部高滩河床的影响尤其明显;水流自然冲刷对河床下切造成的影响仅占 1.0%~3.5%,对赣江南昌河段水位下降的影响有限。

关键词:赣江南昌河段;水位下降;河床下切;采砂;鄱阳湖

中图分类号:TV143 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2018)06-0013-06

Status analysis and influence factors of water level dropping in Nanchang reach of Ganjiang River//TANG Limo^{1,2}, YE Zhiheng², YANG Jiaqi², XIAO Yang^{1,2} (1. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China*; 2. *College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract: From data analysis and numerical validation, the influence factors of water level dropping in Nanchang reach of Ganjiang River were analyzed in the aspect of the water and sediment discharge from the upstream, water level dropping of the Poyang Lake in the downstream and the riverbed deepening in Nanchang reach. It shows that riverbed deepening caused by the large scale of artificial sand mining is the main influence factor for the water level dropping in Nanchang reach. Water level dropping of the Poyang Lake is another factor and the dropping amplitude varied from the amplitude of the water level in the downstream, the distance from the Poyang Lake and the river discharge. In addition, the water level drop in the downstream is also evidently affected by local high beach bed in the dry season. Self-scouring only accounts for 1.0%~3.5% of the riverbed deepening, which has limited impact on the water level dropping in Nanchang reach.

Key words: Nanchang reach of Ganjiang River; water level drop; riverbed deepening; sand mining; Poyang Lake

赣江是江西省最大的河流,南昌河段是赣江尾间段,赣江水流注入鄱阳湖再流入长江。近年来,赣江南昌河段最低水位连创新低,给赣江防洪安全、抗旱灌溉、饮水安全、电网稳定等造成不利影响^[1]。赣江南昌河段水位下降与其上下游边界条件有着密切关系,一般认为赣江尾间段枯水期水位降低的主要影响因素是河床下切和鄱阳湖湖区水位下降^[2-7];刘琦俊等^[8]指出赣江南昌河段水位下降与来水来沙的减少、河床采砂以及下游鄱阳湖枯水位降低等因素有关。本文借鉴前人的研究成果,从赣江南昌河段水位降低与上游来水来沙、下游鄱阳湖水位降低以及南昌河段河床下切 3 个方面,采用资料分析以及数值模拟验证的方法,对赣江南昌河段水位降

低现状及影响因素进行分析研究。

1 赣江南昌河段水位降低现状

受到大量的人为采砂活动、上游万安水利枢纽的运行(1993 年建成蓄水)和赣江流域水土保持工作等综合因素的影响,赣江南昌河段水沙条件发生了较为明显的变化。图 1 为研究的河段,上起外洲水文站,下至西河国际集装箱码头、东河南支的豫章大桥上游、中支自礁矾头向下游约 3 km 处,全长约 25 km。考虑到外洲水文站(简称外洲站)到南昌水位站(简称南昌站)之间的距离较短且无大的流量变化,故采用外洲站当天流量代表南昌站当天流量。

采用滑动平均法对外洲站的径流量和输沙量进

基金项目:国家自然科学基金(51479070)

作者简介:唐立模(1977—),男,教授,博士,主要从事泥沙运动力学与河流动力学研究。E-mail: tanglimo@hhu.edu.cn

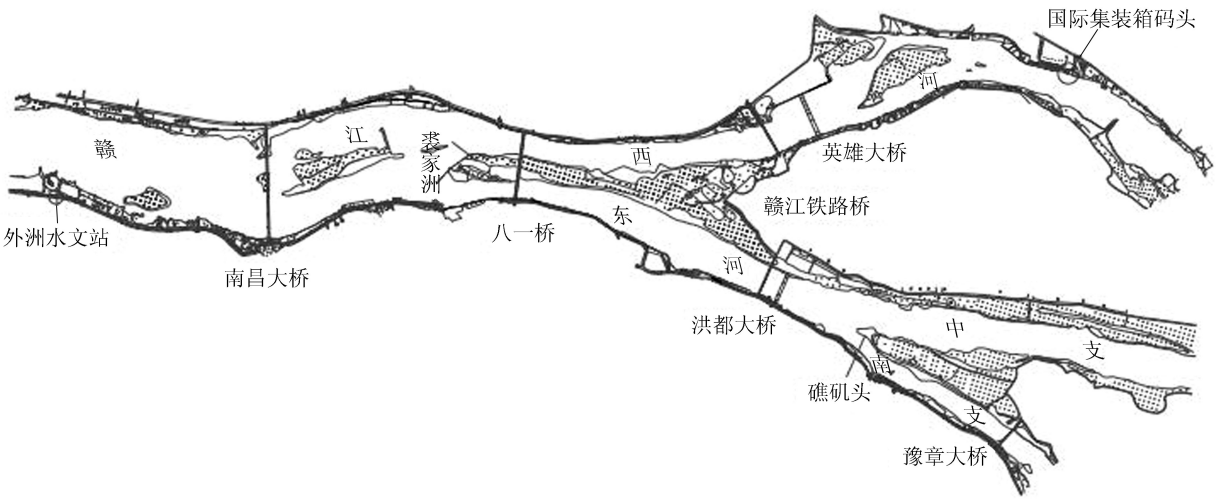


图1 研究河段河道概况

行统计分析(图2)可见,在外洲站径流趋势没有发生明显变化的情况下,输沙量有显著减小的趋势,这与郑海金等^[9]分析赣江1970—2009年径流及泥沙变化得出的结论一致。据此可以排除上游流量变化对赣江南昌河段水位降低的影响。

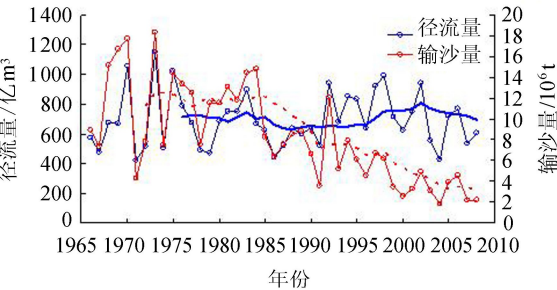


图2 外洲站年径流量和输沙量滑动平均曲线

点绘外洲站以及南昌站1990年、1996年、2001年、2003年、2005年、2007年及2008年的中枯水水位-流量关系曲线如图3、图4所示,可以发现,同流量下的水位逐年下降,且有加速趋势。

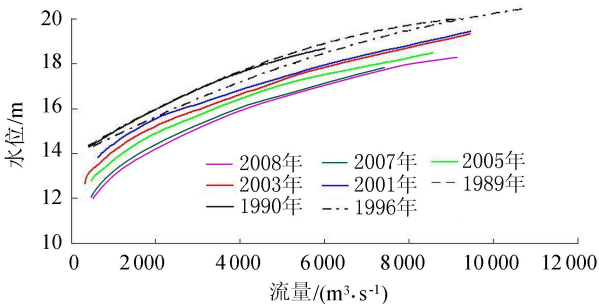


图3 外洲站水位-流量关系曲线

统计不同年份外洲站、南昌站枯水流量与中水流量条件下的水位(表1、表2),可以发现,外洲站和南昌站在同一级流量下水位是逐年降低的,且2000年以后水位在同流量下的降幅更大。2000—2004年与2006—2009年枯水流量时的下降幅度大于中水流量,而2004—2006年枯水流量的水位降幅

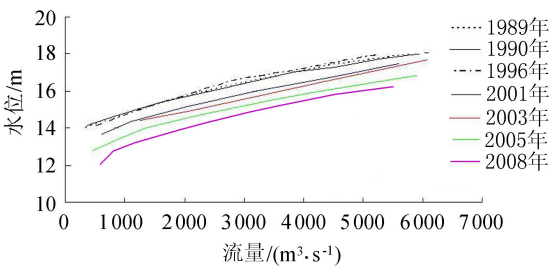


图4 南昌站水位-流量关系曲线

远小于中水流量,说明在2004—2006年枯水水面线以上的边滩可能发生了较为显著的下切,而在2006年以后则主要是枯水河槽下切明显。

表1 外洲站、南昌站枯水流量下不同年份水位

年份	外洲站流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	外洲站 水位/m	南昌站 水位/m	水位差/m
1990	459	14.36	14.26	0.10
1997	458	14.00	13.87	0.13
2000	454	13.92	13.85	0.07
2004	458	12.78	12.71	0.07
2006	452	12.75	12.70	0.05
2009	450	10.90	10.83	0.07

表2 外洲站、南昌站中水流量下不同年份水位

年份	外洲站流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	外洲站 水位/m	南昌站 水位/m	水位差/m
1990	2110	16.10	15.83	0.27
1997	2120	15.81	15.66	0.15
2000	2100	15.63	15.46	0.17
2004	2100	14.93	14.80	0.13
2006	2090	14.33	14.21	0.12
2009	2110	14.17	14.04	0.13

2 平面二维水流泥沙数学模型

将计算区域划分为一系列连续但不重复的有限体积——控制体积,每个控制体积内包含一个计算节点,得到一组离散方程,采用 Pantanker 压力校正法即 SIMPLEC 算法,建立赣江南昌河段数学模型。模型模拟范围上起外洲水文站上游5 km,下至吴城

水位站,全长约 90 km。

2.1 基本方程

连续方程:

∂h/∂t + 1/C_ξC_η [∂(C_ηHu)/∂ξ + ∂(C_ξHv)/∂η] = 0 (1)

动量方程:

∂(Hu)/∂t + 1/C_ξC_η [∂(C_ηHu u)/∂ξ + ∂(C_ξHu v)/∂η + Hu v ∂C_ξ/∂η - H v^2 ∂C_η/∂ξ] = - g u √(u^2 + v^2) / C^2 - g H ∂h/∂ξ + 1/C_ξC_η [∂(C_ηHσ_ξη)/∂ξ + ∂(C_ξHσ_ηξ)/∂η + Hσ_ξη ∂C_ξ/∂η - Hσ_ηξ ∂C_η/∂ξ] (2)

∂(Hv)/∂t + 1/C_ξC_η [∂(C_ηHuv)/∂ξ + ∂(C_ξHvv)/∂η + Hu v ∂C_η/∂η - H u^2 ∂C_ξ/∂η] = - g v √(u^2 + v^2) / C^2 - g H ∂h/∂η + 1/C_ξC_η [∂(C_ηHσ_ξη)/∂ξ + ∂(C_ξHσ_ηξ)/∂η + Hσ_ξη ∂C_η/∂ξ - Hσ_ηξ ∂C_ξ/∂η] (3)

式中:h 为水位;H 为水深;u、v 分别为 ξ、η 方向的流速分量;C_ξ、C_η 为正交曲线坐标系下的拉梅系数,C_ξ = √(x_ξ^2 + y_ξ^2),C_η = √(x_η^2 + y_η^2);g 为重力加速度;σ_ξη、σ_ηξ、σ_ξξ、σ_ηη 为应力项。

悬移质不平衡输移方程:

∂(HS_i)/∂t + 1/C_ξC_η [∂(C_ηHuS_i)/∂ξ + ∂(C_ξHvS_i)/∂η] = 1/C_ξC_η [∂(ε_ξ C_η ∂S_i/∂ξ)/∂ξ + ∂(ε_η C_ξ ∂S_i/∂η)/∂η] + α_i ω_i (S_i^* - S_i) (4)

式中:α_i 为悬沙中第 i 组泥沙恢复饱和系数;ω_i 为第 i 组泥沙的沉速;S_i、S_i^* 分别为分组粒径的含沙量及挟沙力;ε_ξ、ε_η 分别为 ξ 与 η 方向的泥沙扩散系数,假定 ε_ξ = ε_η = ν_t,其中 ν_t 为紊动黏性系数。

2.2 边界条件

数学模型进口给定 u、k、ε 沿河宽的分布,u 分布遵循曼宁公式,并经进口流量闭合校正,进口紊动动能耗散率按下式给定,即

ε = C_f u_j^3 / H (5)

其中

C_f = n^2 g / H^{1/3}

式中:u_j 为进口断面节点纵向流速;n 为曼宁系数。进口紊动黏性系数采用 Laufer 紊动黏性系数测量结果,即

ν_t = 0.0765 u_* H (6)

式中:u_* 为摩阻流速。

由式(5)(6)可推知进口断面紊动能

k = 0.276 C_f^{3/4} u_j^2 / C_u^{1/2} (7)

出流边界设置水位,同时使

{ v = 0; ∂u/∂ξ = ∂k/∂ξ = ∂ε/∂ξ = ∂h/∂ξ = 0 } (8)

固壁边界采用无滑移条件且固壁通量为 0:

{ u = v = 0; ∂k/∂η = ∂ε/∂η = 0 } (9)

2.3 模型验证

根据 2009 年 5—6 月实测水文资料对数学模型进行水位、断面流速分布和河床冲淤量的验证。

表 3 给出了沿程水尺的计算水位与实测水位比较,模拟水位偏差最大为 2.5 cm,最小不到 1 cm。图 5 给出了典型断面流速分布的验证情况,计算的断面流速分布与实测结果基本一致,无系统偏差,主流位置与实测结果基本吻合,流速模拟偏差小于 5%。

表 3 验证计算水位与实测水位比较 m

位 置	Q = 1 200 m³/s			Q = 4 600 m³/s		
	实测	计算	偏差	实测	计算	偏差
外 洲	13.56	13.558	-0.020	16.16	16.185	0.025
趸船处	13.53	13.541	0.011	16.11	16.117	0.007
八一桥下	13.48	13.505	0.025	16.06	16.036	-0.024
英雄桥下	13.45	13.450	0	15.95	15.955	0.005
集装箱码头	13.43	13.422	-0.008	15.90	15.879	-0.021
洪都大桥下	13.43	13.434	0.004	15.86	15.875	0.015
礁矾头	13.42	13.427	0.007	15.78	15.802	0.022

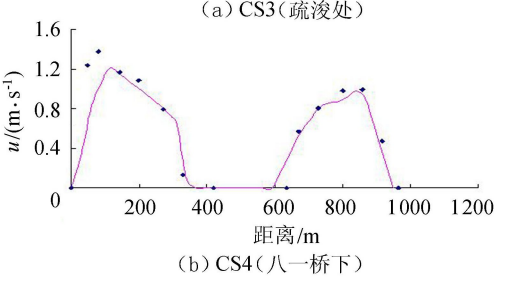
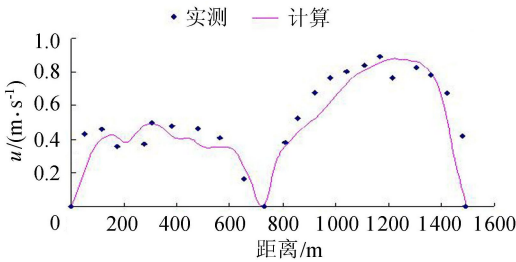


图 5 典型断面流速分布验证

根据 2006 年和 2009 年地形测图对比分析,南昌大桥至八一桥之间河床变化相对较小,基本无采砂的影响,主要是水沙作用而产生的河床自然演变,故选择该河段河床进行数学模型冲淤验证计算。经

过 2006—2008 年实测水沙过程作用后,模型动床计算的河段冲刷量为-128.2 万 m³,根据地形测图统计的冲刷量为-153.7 万 m³,计算值与实测值基本接近,误差约为 16.3%。

综上,经水位、断面流速分布、河床冲淤等验证,计算沿程水位最大偏差 2.5 cm,流速偏差小于 5%,河床冲淤量误差约为 16.3%,符合 JTJ/T 232—98《内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程》的相关要求,与实测结果基本相符,可用于进一步计算研究。

3 赣江南昌河段水位降低原因

3.1 河段地形下切与水位下降关系

相同流量状况下水位下降,最直接的推论就是河床的变形。无论是上游来水来沙的变化还是采砂、航道疏浚等人类活动的影响,最终都是体现为河段地形的变化。因此河段地形的下切应与水位的规律性变化之间存在直接的响应关系。

河段下切方量主要通过河段各典型断面之间的下切量沿程累积来反映。根据 1999 年、2003 年、2006 年和 2009 年的实测地形图选取 10 个河床典型断面(CS1~CS10,图 6),套绘出各断面不同年份的地形变化情况,进行河段下切方量计算。

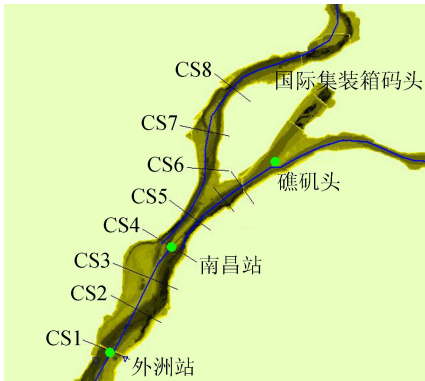


图 6 河床演变分析断面布置

表 4 为 1999—2003、2003—2006 及 2006—2009 年间的河段下切方量及下切深度,从中可发现 2003—2006 年平均下切深度最大,2006—2009 年河道下切有所好转。从河床下切方量计算结果可知,1999—2009 年河段(自外洲站向下,图 6 所示 10 个断面之间)总计下切 0.73 亿 m³,年均下切方量达 666 万 m³;河床平均下切深度为 4.25 m,年均下切深度约为 0.386 m。

表 4 河床下切方量及下切深度

时 段	下切总 方量/万 m ³	年均下切 方量/万 m ³	总下切 深度/m	年均下切 深度/m
1999—2003 年	2 400	533.3	1.40	0.311
2003—2006 年	3 477	993.4	2.00	0.572
2006—2009 年	1 450	414.3	0.85	0.243

通过数学模型计算在 2006 年地形基础上平均下切 0.85 m 后(即以 2006 年实测河道地形下降 0.85 m 生成近似的 2009 年地形,糙率采用 2009 年实测水文资料率定)的水位情况,并与实测的 2009 年水面线比较,用以分析河床下切对水位下降的影响。以 2009 年进行验证计算时,选择的边界条件是 2009 年外洲站流量为 842 m³/s 和 2 180 m³/s 所对应的水位流量资料,下边界采用吴城相应流量下的水位控制;采用 2006 年进行验证计算时,对应边界条件是 2009 年外洲 842 m³/s 的流量及吴城相应水位。计算结果列于表 5,从表 5 可以看出,对于河床下切深度来说,计算水位与实测水位的差值较小,表明河床的下切是南昌河段水位降低的一个主要影响因素,同时沿程河床形态的变化等其他因素对河段的水位变化也有影响。

表 5 模拟地形计算水位与实测水位之差 m

年份	2006 年地形 (842 m ³ /s)	2009 年模拟地形 (842 m ³ /s)		2009 年模拟地形 (2 180 m ³ /s)	
	南昌站	外洲站	南昌站	外洲站	南昌站
1999 年	-0.052	0.130	0.118	0.100	0.064
2003 年	-0.036	0.139	0.115	0.111	0.022
2006 年	0.042	0.089	0.106	0.027	0.035

注:负号表示实测值小于计算值。

3.1.1 上游来沙量降低引起的冲刷下切

在万安枢纽运用后,赣江南昌河段的悬移质输沙量和水中含沙量都大幅降低,水体处于不饱和输沙状态,势必引起沿程河道的冲刷下切,导致一定程度上的水位降落。

上游樟树站到外洲站的距离约为 89.4 km,其间有支流汇入,近似认为只有水量的增加,而不考虑泥沙量的汇入,从樟树站到外洲站输沙量的增加就等于区间由水流冲刷河床而增加的泥沙量。在 1999—2003 年,两站间水历年冲刷量分别为 77 万 t、72 万 t、30 万 t、119 万 t,按樟树站到外洲站距离进行平均计算,分别为 0.9 万 t/km、0.8 万 t/km、0.3 万 t/km、1.3 万 t/km。研究河段从外洲站到下游近似取河段长 15.5 km(与表 4 的计算河段相应),则这一阶段年平均冲刷量约为 9.2 万 m³,与 1999—2003 年河床年平均下切量 530 万 m³ 相比,只占 1.73%。同样的方法可以计算的 2003—2006 年水流冲刷造成的年冲刷量约为 8.5 万 m³,与 2003—2006 年河床年平均下切量 990 万 m³ 相比,约占 0.86%;2006—2009 年水流冲刷造成的年冲刷量约为 6.9 万 m³,与同期河床年平均下切量 410 万 m³ 相比,只占约 1.66%。

除依据水文站实测输沙资料进行水流冲淤量的估算外,还利用平面二维水流泥沙数学模型计算了

河段的河床冲淤情况。模型计算中初始地形采用 2003 年的实测地形资料,计算时段从 2003—2008 年共 6 年。

计算结果表明,2003—2008 年,赣江南昌河段的河床总体表现为冲刷下切,6 年间该河段总的冲刷量为 260 万 m³。由实测地形计算的河床下切方量为 7 500 万 m³,因此模型计算的冲刷量占总下切方量的比例约为 3.5%,可见自然条件下的水力因素引起的河床下切量占比很小。

根据对樟树站、外洲站实测输沙资料的分析 and 数学模型模拟天然水力冲淤计算结果的分析,水流冲刷所造成的河床冲淤量仅占河床总下切方量的 1.0%~3.5%,可见天然水文过程造成的河床冲刷并不是南昌河段河床下切的主要原因。另一方面,河床下切又只是影响河段水位下降的一个因素,因此,只要水流的冲刷不使河势产生大的变化,其对河段水位下降的影响很小。

3.1.2 采砂引起的河床下切

赣江南昌河段的采砂分为营利性的河道采砂、为整治河道而采取的疏浚挖槽以及为吹填造地实施的边滩开采,不论是那一类采砂,其结果最终都使得河床发生下切。

根据外洲站历年(逢 0、逢 5 年份)河底高程变化(图 7)以及实测大断面变化(图 8),结合江西省水文局实测大断面资料分析,外洲站断面冲淤变化大致有以下规律:年内冲淤变化受洪水涨落影响,断面有冲有淤,冲淤交替进行;年际变化有冲有淤,河床变化总体逐年下切。河床变化大致可分为 3 个阶段:①1980 年以前河床变化基本稳定,冲淤变化幅度在 0.6 m 左右;②1998 年以后由于人工挖砂、航道疏浚和红谷滩、红角洲抽砂造地等^[8]各种活动的影响,河槽下切相当明显,至 2005 年河床下切 2.55 m,

平均每年下切 0.26 m;③1998 年后主河槽由左向右扩展,右河槽下切比左河槽快。

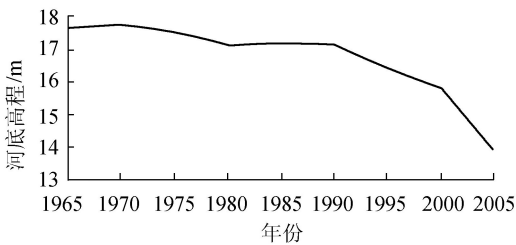


图 7 外洲站平均河底高程

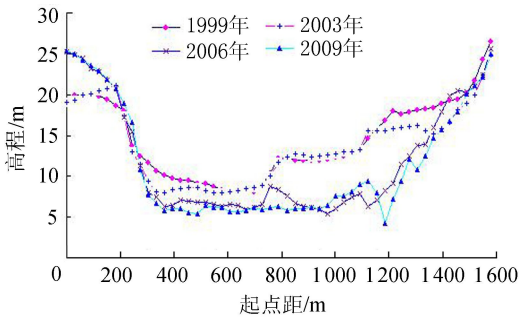


图 8 外洲站实测大断面(2003—2009 年)

据外洲站历年实测大断面资料,得到其水位-面积关系如表 6 所示(水位基准为外洲站冻结高程)。大规模采砂前,外洲站断面变化幅度很小,河床变化稳定;20 世纪 90 年代中期大规模采砂以来,断面面积平均每年增大 380 m²,河床平均每年下切约 0.26 m,河床严重变形。

在研究河段中,总的河床冲刷量减去水流引起的冲刷量即为挖砂引起的冲刷量。前文已分析出水流冲刷河床引起的冲刷量很小,可认为河床的冲刷下切主要是受挖砂的影响。根据河床下切与水位降低的响应关系,河床下切是南昌河段水位降低的主要影响因素。

3.2 下游水位降落引起的水位降低

由于赣江与长江的洪水期时常是错开的,长江汛

表 6 外洲水文站水位-面积关系

水位/m	各年过水面积/m ²								
	2005 年	2000 年	1995 年	1990 年	1985 年	1980 年	1975 年	1970 年	1965 年
14.00	3 690	1 880	907	382	259	163	263	602	573
15.00	4 620	2 480	1 482	723	649	430	223	822	891
16.00	5 550	3 130	2 128	1 163	1 158	876	739	1 077	1 329
17.00	6 500	3 840	2 842	1 703	1 774	1 639	1 424	1 399	1 809
18.00	7 590	4 720	3 673	2 408	2 559	2 610	2 228	1 991	2 383
19.00	8 800	5 700	4 643	3 478	3 621	3 704	3 179	2 820	3 120
20.00	10 100	6 730	5 768	4 635	4 774	4 863	4 320	3 874	4 056
21.00	11 400	7 870	7 010	5 891	6 068	6 163	5 548	6 185	5 123
22.00	12 700	9 260	8 412	7 315	7 490	7 571	6 914	6 230	6 298
23.00	14 000	10 700	9 886	8 779	8 959	9 034	8 321	7 444	7 538
24.00	15 400	12 200	11 370	10 260	10 458	10 529	9 772	8 773	8 866
25.00	16 800	13 700	12 861	11 747	11 747	12 039	11 258	10 156	10 250
26.00	18 200	15 148	14 358	13 238	13 499	13 562	12 754	11 549	11 645

期稍晚于赣江,因此每当长江汛期时,洪水倒灌进鄱阳湖,对赣江的来水就会产生顶托作用。据此推论,若鄱阳湖的水位降低了,其上游的水位也会相应有所降低,从而必然对赣江南昌河段的水位产生影响。

下游航道疏浚、三峡水库运行后鄱阳湖水位降低等均会导致赣江南昌河段下游的水位下降,从吴城站 2000—2008 年水位-流量关系的变化情况(图 9)可以看出,吴城站最大水位降幅为 2 m。针对吴城站水位的降落情况,采用二维水流数学模型进行赣江尾闾段水位下降模拟。在地形相对不变的情况下,单纯计算吴城水位下降 2 m 时外洲站水位的降落幅度。所选计算条件和相应的外洲站水位降幅见表 7,外洲站至吴城站沿程水位降落情况见图 10 与图 11(图中上方的水面线为现状条件下的沿程水位,下方的水面线为吴城站水位下降 2 m 后的沿程水位)。

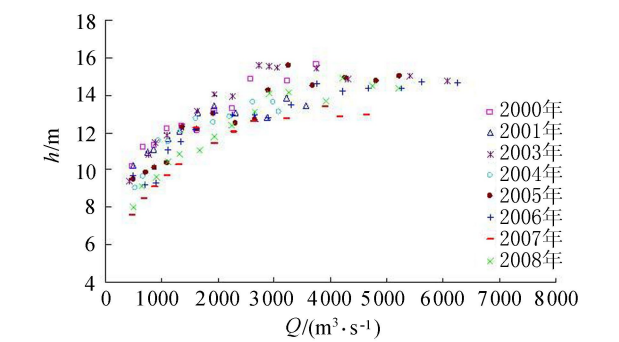


图 9 吴城站 2000—2008 年水位-流量关系

表 7 吴城站水位下降 2 m 引起的外洲站水位降落

流量 条件	外洲站 流量/ (m³·s ⁻¹)	吴城站水位/m		外洲站水位/m		
		现状	下降 2 m 后	现状	吴城站 下降 2 m 后	降幅
设计流量	436	8.88	6.88	12.00	11.97	-0.03
整治流量	1625	10.44	8.44	13.80	13.75	-0.05
平滩流量	3875	12.34	10.34	15.80	15.70	-0.10
造床流量	7465	14.26	12.26	17.60	17.38	-0.22

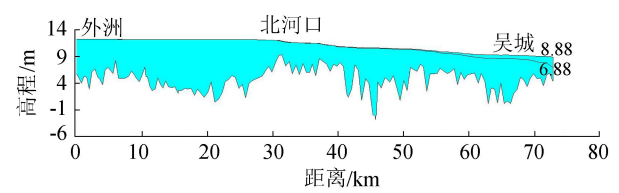


图 10 设计流量下外洲至吴城沿程水位降落

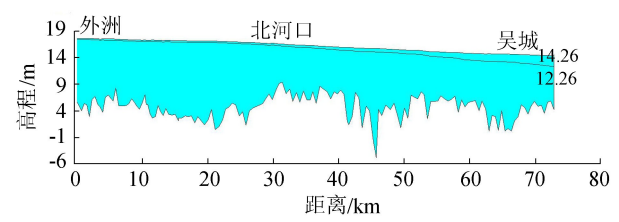


图 11 造床流量下外洲至吴城沿程水位降落

计算结果表明,在上游来流量和河段地形不变

的条件下,仅考虑下游吴城水位下降 2 m,对外洲站水位降落的幅度为 0.03 ~ 0.22 m,以外洲站同期水位降落总值为 2 m 估算,南昌河段的水位降落受下游吴城站(鄱阳湖)水位降低的影响程度为 1.5% ~ 11.0%。可见,下游水位的降落的确会造成南昌河段的水位下降,降幅随下游水位的变幅、距下游的距离以及流量的不同而不同,并且在枯水时受局部高滩(如图 10 北河口段)河床的影响尤其明显。

4 结 语

影响赣江南昌河段水位下降的因素包括河道采砂、航道整治、吹填造地等人类活动和上游水沙过程变化、下游水位下降等自然因素。

根据分析,赣江南昌河段的水位下降主要是由河床下切及鄱阳湖水位降低引起的。大规模采砂是导致河床下切的主因,也是河段水位下降的主要影响因素。水流自然冲刷对河床下切造成的影响仅占 1.0% ~ 3.5%,对河段水位下降的影响幅度有限。

鄱阳湖水位降低对赣江南昌河段的水位下降也有一定影响,以吴城站水位降幅 2 m 为边界条件,进行外洲—吴城河段水面线变化计算,结果表明湖水位下降对南昌河段水位降低的影响为 1.5% ~ 11.0%。

参考文献:

[1] 史明涓,史小平. 赣江下游枯水期水位持续降低影响与分析[J]. 中国防汛抗旱,2016,36(4):55-58,96. (SHI Mingjuan,SHI Xiaoping. Impact and analysis of continuous water level decrease during drought period at downstream of Ganjiang River[J]. China Flood & Drought Mangement, 2016,36(4):55-58,96. (in Chinese))

[2] 陈珺,嵇敏,林江,等. 赣江尾闾河段水沙特性及河床演变[J]. 水利水电科技进展,2012,32(3):1-5. (CHEN Jun, JI Min, LIN Jiang, et al. Runoff-sediment characteristics and riverbed evolution of Ganjiang River sink[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2012,32(3):1-5. (in Chinese))

[3] 陈界仁,刘涵心,吕婷婷. 赣江尾闾河道枯水位变化与成因分析[J]. 水电能源科学,2016,34(10):28-31. (CHEN Jieren, LIU Hanxin, LÜ Tingting. Analysis of low water level variation and cause for Ganjiang Trail channel[J]. Water Resources and Powe, 2016, 34(10):28-31. (in Chinese))

[4] 刘小东,任兵芳. 鄱阳湖低枯水位变化特征与成因探讨[J]. 人民长江,2014,45(4):12-16. (LIU Xiaodong, REN Bingfang. Analysis on variation characteristics and genesis of lower water level of Poyang Lake[J]. Yangtze River, 2014,45(4):12-16. (in Chinese))

(下转第 85 页)